

Z3422

Morfologische gevolgen van het
introduceren van een getij in het
Grevelingenmeer

Augustus 2003

Z3422

wl | delft hydraulics

Morfologische gevolgen van het introduceren van een getij in het Grevelingenmeer

Ilka Tánzos en Alessandra Crosato

Inhoud

1	Inleiding	1
	1.1 Achtergrond	1
	1.2 Aanpak	1
	1.3 Leeswijzer	2
2	Projectgebied	3
	2.1 Het Grevelingenmeer	3
	2.2 Visies op de toekomst van het gebied	4
3	Morfologische processen in een estuarium	7
	3.1 Inleiding	7
	3.2 Micro-schaal	8
	3.3 Meso-schaal	8
	3.4 Macro-schaal	9
	3.5 Samenvatting	11
4	Gevolgen van het introduceren van een getij in het Grevelingenmeer	13
	4.1 Inleiding	13
	4.2 Scenario's	13
	4.3 Verwachtingen per variant	14
	4.3.1 Herstel korte zeearm	14
	4.3.2 Herstel lange zeearm	15
	4.3.3 Herstel van het estuarium	15
5	Oevers	17
	5.1 Inleiding	17
	5.2 Effectiviteit bestaande oeververdedigingen bij invoeren getij	18
	5.2.1 Oevererosie	18

5.2.2	Ontwikkeling van platen en schorren in de beschermde oeverzone	19
5.2.3	Gevolgen voor de vooroeverdammen	20
5.3	Schorontwikkeling	21
6	Conclusies en kennisleemtes	23
6.1	Conclusies	23
6.2	Kennisleemtes	24
6.2.1	Inventarisatie	24
6.2.2	Plan van aanpak	25
7	Referenties	27

I Inleiding

I.1 Achtergrond

In het kader van het opstellen van de integrale visie deltawateren 'Delta InZicht' door de provincies Zuid-Holland, Noord-Brabant en Zeeland, zijn er een aantal ideeën ingediend over de toekomst van het Grevelingenmeer en het Volkerak-Zoommeer. Deze beogen het terugbrengen van een getemd getij, eventueel in combinatie met een zout-zoet dynamiek. Dit heeft een gecombineerd doel: het geeft de mogelijkheid om de hoogwaterproblematiek in de bovenrivieren op te vangen en tegelijkertijd het ecologisch herstel van de delta te bewerkstelligen.

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) van Rijkswaterstaat heeft WL | Delft Hydraulics gevraagd, middels een brief d.d. 23 augustus 2002, een bureaustudie uit te voeren naar de morfologische gevolgen van deze plannen. Dit rapport is een weergave van de bevindingen daarvan.

De nadruk van de opdracht ligt op een beschrijving van de morfologische en hydraulische processen, met als doel om de kennisleemtes te identificeren die nu nog een diepere evaluatie van het functioneren van het systeem met een getemd getij moeilijk maken. De ecologie wordt alleen in beschouwing genomen als dit van belang is voor de morfologie. Er is gevraagd een overzicht te geven van de processen die een rol spelen bij de opbouw en afbraak van de oevers en de ontwikkeling van de bodem in het Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer, zowel op grote als kleine schaal. Het gaat hierbij om de volgende situaties:

1. Een natuurlijk open estuarium (processen rondom opbouw van vooroevers);
2. De (gedeeltelijke) sluiting van het estuarium (afbraak vooroevers, 'zandhonger');
3. De (gedeeltelijke) opening van een estuarium en het herstel van de estuariene dynamiek (kunnen vooroevers weer opbouwen en voldoen de vooroeververdedigingen nog).

Op basis van dit overzicht is gevraagd aan te geven van welke aspecten de kennis ontbreekt en een plan van aanpak te ontwikkelen om deze leemtes te vullen.

I.2 Aanpak

Dit project betreft een bureaustudie die is uitgevoerd door Ilka Tánzos en Alessandra Crosato. De benodigde informatie komt uit de literatuur en van een aantal experts binnen WL | Delft Hydraulics in de vorm van een deskundigeoordeel over de situatie in het Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer. Hiervoor zijn de volgende mensen benaderd:

- Z.B. Wang : expert op het gebied van de morfologie van estuaria
- M. Klein-Breteler : expert op het gebied van oeververdedigingswerken
- M. de Vries : expert op het gebied van biologie en schorren

- H. Verheij : expert op het gebied van natuurlijke oeververdedigingen
- Walther van Kesteren : expert op gebied van slib processen en constructies

De bijdragen van deze experts zijn in de tekst verwerkt en zullen in tegenstelling tot andere bronnen niet altijd expliciet worden genoemd.

In het kader van de integrale visie deltawateren 'Delta InZicht', zijn twee plannen ontwikkeld voor het terugbrengen van het getij in het gebied, te weten *Deltasynergie* en *Scharrezee*. Deze plannen dienen als basis voor de drie scenario's die voor de onderliggende studie gedefinieerd zijn.

1.3 Leeswijzer

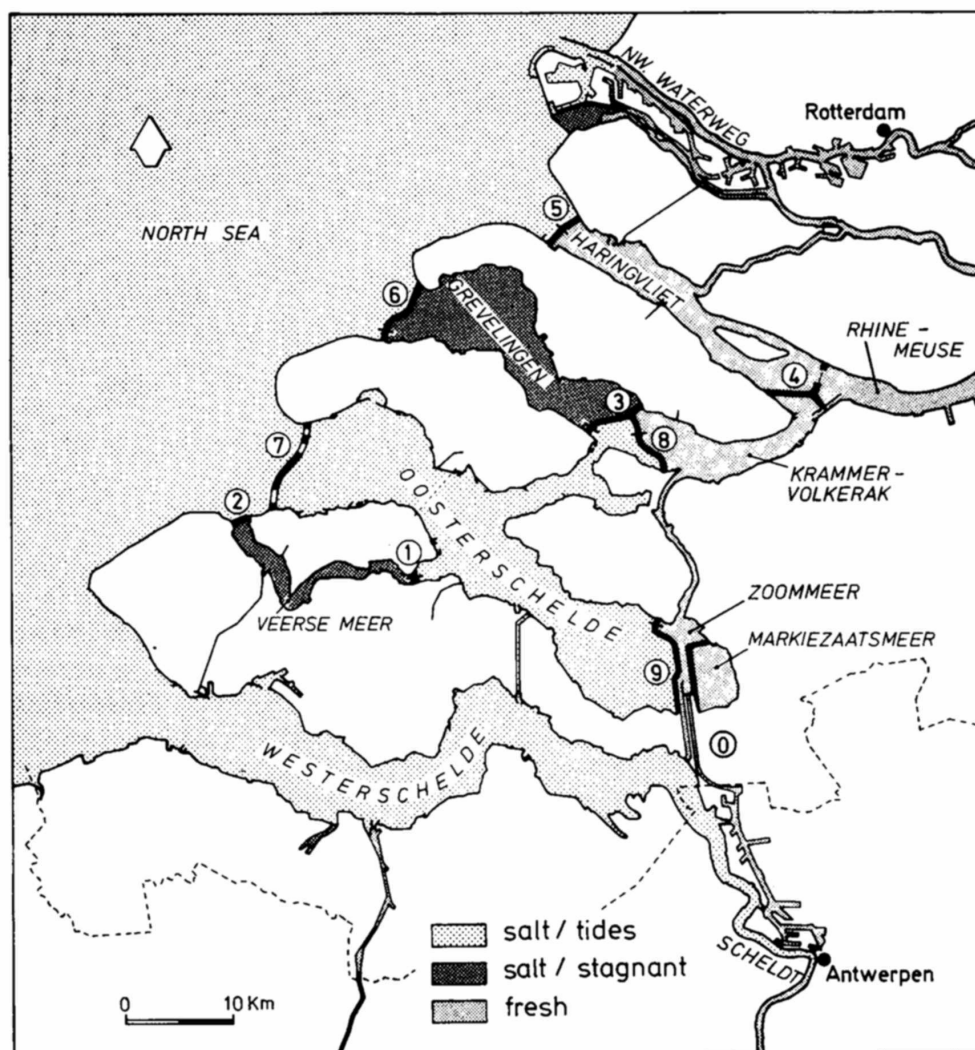
Hoofdstuk 2 geeft een korte beschrijving van het projectgebied en de twee ontwikkelde plannen Deltasynergie en Scharrezee. Een algemeen beeld van de relevante processen in een estuarium wordt gegeven in Hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 gaat in op de beschrijving van de scenario's waarop de analyses gebaseerd zijn en de gevolgen van deze scenario's voor het Grevelingenmeer. Daarna wordt in Hoofdstuk 5 nader ingegaan op de gevolgen van het invoeren van een getij voor de oevers. Het rapport besluit in Hoofdstuk 6 met conclusies, een inventarisatie van de kennisleemten en een plan van aanpak om deze te vullen.

2 Projectgebied

2.1 Het Grevelingenmeer

Het Grevelingenmeer is ontstaan als gevolg van het Delta Plan. Eerst ontstond in 1964 een zoute zeearm door de afsluiting van het Haringvliet middels de Grevelingendam.

Uiteindelijk door de gereedkoming van de Brouwersdam in 1971 ontstond vervolgens een zoutwatermeer (zie Figuur 2.1). Het meer heeft een gemiddelde diepte van ruim 5 m. Het diepste punt ligt op NAP -48 m.



Figuur 2.1 Overzicht van het Delta gebied na de voltooiing van het Delta Plan (uit Brouwer et al., 2001). Tussen haakjes staat het bouwjaar van de dammen aangegeven. 0 = Kreekrakdam (1867), 1 = Zandkreekdam (1960), 2 = Veersegatdam (1961), 3 = Grevelingendam (1964), 4 = Volkerakdam (1969), 5 = Haringvlietdam (1970), 6 = Brouwersdam (1971), 7 = Stormvloedkering (1986), 8 = Philipsdam (1987), 9 = Oesterdam (1986). Markiezaatsmeer has been separated from Zoommeer in 1983.

In 1979 is een sluis gebouwd in de Brouwersdam om de uitwisseling met de Noordzee mogelijk te maken. Van 1980 tot 1999 stond de spuisluis alleen open in de periode oktober-april. Vanaf 1999 staat de sluis continu open. Op verzoek van de palingvissers is er tussen september en december een sluiting van maximaal 30 dagen om te voorkomen dat de paling het meer uittrekt. Door te manipuleren met de sluis wordt het waterpeil op NAP -0.20 m gehouden met fluctuaties van een paar centimeter (Hoeksema, 2002).

Bij het afsluiten van de zeearm en het invoeren van een vast peil is er ruim 3000 ha buitendijks gebied drooggevallen (vroegere intergetijdegebieden).

2.2 Visies op de toekomst van het gebied

De provincies Noord-Brabant, Zuid-Holland en Zeeland hebben het project ‘Delta Inzicht’ opgezet met als algemene doelstelling: *‘het opstellen van een door de regio gedragen visie op de Deltawateren waardoor de Delta in 2030 zowel ecologisch als economisch stabiel en vitaal is. Een visie die visionair is, uiteindelijk leidend naar concrete projecten en maatregelen’* (www.deltainzicht.nl). Als onderdeel hiervan brengt Rijkswaterstaat als waterbeheerder in het project de Blauwe Delta de kennis bijeen op grond waarvan geadviseerd wordt in het visieontwikkelingstraject.

Op basis van verschillende invalshoeken zoals veiligheid, transport en natuur, zijn in het kader van Delta InZicht twee plannen ingediend voor het Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer. Door de provincies is aan RWS gevraagd hiervoor advies uit te brengen.

1. Deltasynergie (plan Bureau Waardenburg, Alkyon, Provincie Zuid-Holland, H₂ID):

- Open verbinding Brouwersdam tussen Grevelingenmeer en Noordzee inclusief een Stormvloedkering, een scheepvaartsluis en een getijcentrale (ca. 110 MW)
- Getijdynamiek en zand terug in de meren Grevelingen en Krammer-Volkerak
- Herstel zout-zoetgradiënten door inlaat rivierwater via Volkeraksluizen en doorlaat Grevelingendam

2. Scharreze (plan Breed Overleg Deltawateren/ANWB)

- Open verbinding (met Stormvloedkering) tussen Haringvlietmonding en Grevelingenmeer door middel van het Halskanaal
- Gedempt getij op Grevelingenmeer
- Open verbinding met Krammer-Volkerak en herstel zout-zoetgradiënten

Relevante hydraulische kenmerken van beide varianten zijn kort weergegeven in tabel 2.1 (RIKZ, 2002). Een getijslag van ca. 1 m was één van de gestelde randvoorwaarden. Voor de optie Deltasynergie werd in een modelstudie berekend dat dit bereikt werd bij een stormvloedkering in de Brouwersdam met een doorstroomopening van 1200 m².

Bij de Scharreze is de maximaal haalbare getijslag 0.62 m, welke wordt bereikt wanneer een kanaal gegraven wordt met een breedte van 400 m en een diepte op NAP –8 m. Met een verbinding naar het Volkerak daalt de getijslag bij dezelfde dimensies tot 0,44 m zowel in het Grevelingenmeer als in het Volkerak.

Door het Halskanaal stroomt ongeveer 2% (extreme afvoer) tot 15% (normale omstandigheden) van de totale rivierafvoer via het Grevelingenmeer. De Scharzee draagt dus weinig bij aan de afvoercapaciteit van het Noordelijk Deltabekken. De maximale stroomsnelheden door het kanaal zijn circa 1,8 m/s.

Tabel 2.1 Kenmerken van de plannen Deltasynergie en Scharzee

	Karakterisatie haliniteit	Maximale Waterstand (m t.o.v. NAP)		Getijslag (m)		Areal Intergetijde Gebied (ha)	
		Grev.	Volk.	Grev.	Volk.	Grev.	Volk.
Deltasynergie							
Zonder zoet inlaat	Zout			1.3			
Met zoet inlaat	Zout-zoet- gradient	+0.5	+1.2	0.9	0.75	≈ 2000	Min 400
+ extreme afvoer		+1.3	+2.2	1.8	1.0		
+ storm		+1.5	+2.7	1.9	1.2		
Scharzee							
Zonder zoet inlaat	Zout	+0.6		0.6		≈ 1300	Max 350
Met zoet inlaat	Brak	+0.5	+0.5	0.4	0.4		
+ extreme afvoer		+1.2	+1.7	0.4	0.8		
+ storm		+2.2	+2.9	0.4	1.1		

Gebaseerd op de twee plannen, Deltasynergie en Scharzee, zijn voor dit project, samen met de opdrachtgever, drie scenario's gedefinieerd. Deze scenario's, beschreven in Hoofdstuk 4, zijn de basis voor de in deze studie uitgevoerde analyses van de morfologische gevolgen van het introduceren van een getij in het Grevelingenmeer, met als doel de definitie van de kennisleemtes.

3 Morfologische processen in een estuarium

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk ligt de nadruk op de morfologische en hydrodynamische processen die zijn opgetreden als reactie op het sluiting van de Grevelingen en het Volkerak en die zullen optreden wanneer de getijdynamiek deels hersteld wordt. Er wordt derhalve niet gestreefd naar een volledige beschrijving van alle morfologische en hydrodynamische processen die in een estuarium op kunnen treden. Een belangrijk aspect is daarbij de groei van intergetijdegebieden, die een centrale rol speelt in de ecologische ontwikkeling van het systeem.

De morfologie van een estuarium wordt bepaald door de interactie tussen waterbeweging en sediment. In een estuarien systeem wordt het sediment aangevoerd vanuit de zee en de rivier. Per getijdencyclus worden er grote hoeveelheden sediment heen en weer getransporteerd. De netto hoeveelheid sediment die achterblijft in het estuarium of juist naar de buitendelta wordt vervoerd is uiteindelijk relatief erg klein. De aanvoer vanuit de rivier wordt bepaald door de afvoer en stroomsnelheid van de rivier. De samenstelling van het sediment in een estuarium is daardoor afhankelijk van de rivierafvoer, het getij en de locatie. Aan de zeezijde zal het sediment van zee de overhand hebben terwijl verder het estuarium in de rivier een grotere impact heeft.

De resultante van de interactie tussen zand, slib en water bepaalt de morfologische dynamiek van het estuariene systeem welke in dit hoofdstuk wordt beschreven. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen de dynamiek op macro-, meso- en microschaal, welke Brouwer et al. (2001) als volgt definiëren:

Micro-schaal. Dit is de schaal van beddingvormen, zoals megaribbels, etc, met typische lengteschalen van enkele tot tientallen meters. Bijbehorende tijdschalen zijn dagen tot weken.

Meso-schaal. Dit is de schaal van kleine geulen, plaat-geul interacties, schorren, etc. met typische lengteschalen in de orde van een paar honderd meter tot enkele kilometers. De bijbehorende tijdschalen zijn maanden tot jaren.

Macro-schaal. Dit is de schaal van de belangrijkste geulen, meanders, etc. met typische ruimteschalen in de orde van de getijweglengte en tijdschalen in de orde van tientallen jaren.

De zogenaamde mega-schaal die de gehele delta omvat met bijbehorende tijdschalen van vele eeuwen, wordt in deze studie buiten beschouwing gelaten.

3.2 Micro-schaal

Bij de micro-schaal gaat het om de processen die zich afspelen op ruimteschalen in de orde van enkele tot tientallen meters, met tijdschalen van dagen tot weken. Dit betreft lokale erosie (ook lokale oevererosie) en sedimentatie en de ontwikkeling van bodemvorming. Deze processen zijn bijvoorbeeld van belang voor de habitat van benthische soorten en voor de ontwikkeling van schorren. De sturingsfactoren zijn sediment transport, sedimenterosie en sedimentatie en de lokale hydrodynamisch karakteristieken, zoals stroomsnelheid en golven.

Sediment bestaat uit zand en slib. De scheiding tussen deze twee bestanddelen wordt vaak gemaakt op grond van korrelgrootte en ligt bij $63 \mu\text{m}$. De zand-fractie ($\geq 63 \mu\text{m}$) wordt getransporteerd als bodemtransport (dicht bij de bodem) en in suspensie. Bij toenemende stroomsnelheden zal steeds meer zand in beweging komen en wordt er ook steeds meer zand in suspensie getransporteerd.

Slib bestaat uit de fijne sedimentdeeltjes inclusief organisch materiaal. Het onderscheid tussen bodemtransport en suspensie-transport wordt nu niet gemaakt. Boven een bepaalde snelheid komt het slib in de waterkolom en beweegt mee met de stroming. Neemt de snelheid af dan zal het slib op een gegeven moment weer uitzakken. Zolang de kritieke snelheid voor erosie niet wordt bereikt zal al het slib blijven liggen¹.

Golven woelen het sediment van de bodem los dat daarna door de stroming kan worden vervoerd. Door het lagere gewicht komt slib hoger in de waterkolom dan zand. Door de lagere valsnelheid blijft het ook veel langer in de waterkolom dan zand. Ook door kleine stromingen getransporteerd, kan het slib over veel grotere afstanden worden vervoerd dan zand. Het blijft uiteindelijk daar liggen waar de stroming de kritieke stroomsnelheid voor sedimentatie onderschrijdt.

3.3 Meso-schaal

Bij deze schaal gaat het voornamelijk om de plaat-geul interactie en de ontwikkeling van schorren en platen als geheel alsook van enkele geulen. De tijdschaal waar het hier om gaat bedraagt maanden tot jaren. De sturingsfactoren zijn dezelfde als voor de micro-schaal, maar dan beschouwd op een grotere schaal. Ze resulteren in de groei of afbraak van schorren, slikken en platen en in verdieping of verondieping van de geulen.

Slikken, schorren (kwelders) en platen worden opgebouwd door het getij en 'afgebroken' door golven (De Vriend en Bakker, 1993). Het water moet daarbij wel hoog genoeg komen om het sediment van de platen af of naar de platen toe te bewegen. Kohsiek et al. (1987) vonden dat op de Galgeplaat in de Oosterschelde onder normale condities bij springtij zand in de richting van de plaat wordt getransporteerd en bij een storm van de plaat af.

De geulen zijn de voornaamste routes van sediment transport omdat daar de snelheden het hoogst zijn. Wanneer de natuurlijke opening van het estuarium wordt afgesloten zullen de

¹ Er is eigenlijk geen sprake van een drempelwaarde maar een tijdseffect. Het bovenste laagje van de sliblaag heeft de tijd nodig om te verweken voordat het waarneembaar gaat bewegen. Echter, ook bij lagere snelheden bewegen er slibdeeltjes (persoonlijke mededeling W. van Kesteren).

snelheden sterk afnemen. De stromingen zullen dan voornamelijk door wind en golven worden gedreven (zie ook Paragraaf 3.4). In de diepe geulen zullen de snelheden zo laag liggen dat ze een soort ‘sediment-vang’ vormen, waar het fijne zand en slib uitzakt. Het slib zal daar door de zwaartekracht consolideren of ‘inklinken’ wat betekent dat het vast ligt. Voor sliblagen van enkele decimeters tot meters dik vindt dit proces plaats op een tijdschaal van jaren.

Voor de *opbouw* van de ondiepe gebieden (oevers, slikken en platen) zijn de sturende factoren de volgende:

- Waterstroming, die voor de resuspensie en het transport van het sediment zorgt.
- Dynamisch waterpeil (getij), dat zorgt voor het transport van sediment naar de hoogste gebieden en tijdens hoogwaterkentering sedimentatie op de hoogste gebieden mogelijk maakt.
- Sedimentaanvoer vanuit zee en rivier, die de beschikbaarheid van het benodigde materiaal (zand en slib) garandeert.

De golven zonder stroming werken vooral tegen de opbouw van de hoogste gebieden, maar in combinatie met de stroming resuspenden de golven het sediment van de bodem, dat daarna door de vloedstroming naar de hoogste gebieden vervoerd kan worden.

3.4 Macro-schaal

Op de macro-schaal hebben de processen een tijdschaal van tientallen jaren. Op deze schaal beschouwt men elk van de bekkens Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer in zijn geheel.

Als de morfologie van een estuariene systeem gebaseerd is op een gegeven hydrodynamiek en sedimentaanvoer en als op een gegeven moment één van de in Paragraaf 3.3 genoemde sturende factoren wegvalt, begint het systeem een proces van aanpassing aan de nieuwe situatie dat na een overgangperiode (tientallen jaren) tot een nieuw evenwicht kan leiden.

De volgende situaties kunnen ontstaan:

- Vermindering van de water-stroming: het sediment transport wordt minder groot; het systeem kan golf-gedomineerd worden, waarin het sediment door golven wordt geresuspendeerd en door een resulterende wind- en golfgedreven stroming wordt getransporteerd. In dit geval is de afbraak van intergetijdegebieden, oevers etc. dominant ten opzichte van de opbouw.
- Vermindering van de getijslag: de intergetijdegebieden worden kleiner; het sediment komt en sedimenteert niet meer op de hoogste gebieden.
- Vermindering van de sedimentaanvoer: er is geen materiaal voor het opbouwen.

In het algemeen, als de hydrodynamica vermindert raken de geulen overgedimensioneerd en zal het de nieuwe evenwicht door kleinere geulen gekarakteriseerd zijn. Vermindert ook de aanvoer van sediment, dan kan de overgang naar dat evenwicht niet plaatsvinden.

Als alle sturende factoren worden verminderd, zoals bij de sluiting van een estuarium, wordt het watersysteem meer uniform, met sedimentatie in de geulen en afbraak en dus verlaging van de hoogste gebieden. De oevers eroderen door de golfwerking. Dit is de huidige situatie van Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer.

Metingen laten een lineair verband zien tussen het volume dat tijdens een getijcyclus (eb+vloed) een doorsnee passeert en het doorstroomoppervlak van de geul (zie bijvoorbeeld DGW, 1987). Als er minder water het estuarium in- en uitstroomt zullen de stroomsnelheden in de relatief grote geulen kleiner zijn dan in de oorspronkelijke situatie. Hierdoor zal sedimentatie optreden waardoor de geulen kleiner worden en de snelheden weer toenemen. Dit proces zal doorgaan totdat weer sprake is van een evenwichtssituatie.

In de Oosterschelde, waar de getijslag door de aanleg van de Oosterscheldedam kleiner is geworden, is dit proces nu aan de gang.

Door de aanleg van de stormvloedkering in de Oosterschelde is de getijslag kleiner geworden en is tegelijkertijd de aanvoer van zand vanaf de Noordzee sterk afgenomen als gevolg van ontgrondingskuilen die zijn ontstaan aan beide zijde van de dam (EOS, 1991). Er wordt daarom vaak gesproken over de ‘zandhonger’ van de Oosterschelde. Er wordt nu sediment van de platen en slikken naar de geulen getransporteerd en daarin afgezet, waardoor het areaal aan intergetijdegebied sterk afneemt. Slib kan wel voorbij de dam en de Oosterschelde wordt dan ook steeds slibrijker. Dit illustreert het belang van de aanvoer van sediment voor de morfologische ontwikkeling.

Het netto sedimenttransport in een getijcyclus hangt af van onder andere de ‘*getij-asymmetrie*’. In ondiepe wateren duren de eb en vloed niet even lang waardoor de bijbehorende stroomsnelheden ook verschillen. Als de periode van toename van de waterdiepte kleiner is dan die van de daling dan spreekt men van vloeddominantie. Een andere vorm van asymmetrie is het verschil in de duur van de kentering bij hoog en bij laag water. Hoe langer de kentering duurt, hoe groter de kans op sedimentatie (Wang & van der Weck, 2002). Het is niet bekend hoe de getijasymmetrie in het Grevelingen systeem zal zijn na het introduceren van een getemd getij.

Ook bij een volstrekt symmetrisch getij kan er netto sedimenttransport optreden door concentratie verschillen in en buiten het estuarium. Dit wordt *intergetijde dispersie* genoemd. Door bijvoorbeeld te brede geulen met als gevolg te lage snelheden kunnen de sedimentconcentraties in het estuarium lager zijn dan in de buitendelta. Er zal dan een netto naar binnen gericht transport op kunnen treden. De drijvende kracht voor deze vorm van menging is de getijdestroom (Wang & van der Weck, 2002).

Naast de getijbeweging en de door wind geïnduceerde golven en stromingen bestaan er in een estuarium dichtheidstromen door de zout-zoetgradient. Aan de rivierkant heeft het water een lagere dichtheid dan aan de zeezijde. Hierdoor ontstaat er bij de bodem een stroming het estuarium in. Deze wordt gecompenseerd door een zeewaarts gerichte stroming bij het oppervlak (Van der Wegen, 2002). Omdat de slibconcentratie hoog is bij de bodem kan de dichtheidstroming een significante invloed hebben op de zand-slib verdeling in een estuarium. Het is niet bekend hoe ver de *zoutindinging* in het Grevelingenmeer en het VolkerakZoommeer zal zijn na het open maken van Brouwersdam, Grevelingendam en Volkerakdam (herstel van het estuarium, zie Paragraaf 4.3.3).

3.5 Samenvatting

In onderstaande tabel staan alle besproken processen samengevat. Hierbij is aangegeven wat de sturende kracht is en wat het effect is.

Tabel 3.2 Samenvatting van de processen die relevant zijn voor het Grevelingenmeer. In de lijst zijn niet alle processen en sturingsfactoren op grotere schaal vermeld, in het bijzonder niet alle sturingsfactoren op grotere schaal die al voor een kleinere schaal aangegeven zijn.

Schaal	Fenomeen	Direct gerelateerd processen	Sturingsfactoren van de direct processen	Direct effecten van de sturing factoren
Micro	Lokale erosie, sedimentatie en bodemvormen	Sedimentresuspensie Sedimenttransport Sedimentafzetting	Golven, stroming Getij, golven, wind, zout/zoet-gradiënt, sedimentaanvoer Kentering duur (slib), stroomvertraging (zand)	Troebelheid, erosie Lokale verschillen in sedimentsamenstelling Verslibbing toplaag, aanzanding
Meso	Ontwikkeling van geulen, schorren en platen	Opbouw/afbraak schorren en platen Verdieping/verondieping van de geulen	Stroming, getij, golven en sedimentaanvoer Golven stroming en sedimentaanvoer	Ophoging schor, platen Herverdeling van sediment: van hoge gebieden naar geulen (golven) en sedimentatie. Bodemerosie door stroming (hoge snelheden).
Macro	Karakteristieken van bekken als geheel	Aan- en afvoer van sediment Groot-schalige morfologie (b.v. doorstroom-oppervlak)	Getij-asymmetrie, intergetijde dispersie, afvoer van sediment uit zee en van riviersediment, zoutindringing Hydrodynamica (getij, rivierafvoer en golven) en sedimenttransport	Sediment toe- of afvoer Sedimentatie en erosie

4 Gevolgen van het introduceren van een getij in het Grevelingenmeer

4.1 Inleiding

In de vorige hoofdstukken is in algemene zin over estuariene systemen gesproken. Dit hoofdstuk gaat in op de beschrijving van de scenario's waarop de analyses gebaseerd zijn en de gevolgen van deze scenario's voor het Grevelingenmeer.

Sinds de bouw van de Brouwersdam is er geen getij meer in het Grevelingenmeer. Ook de aan- en afvoer van sediment is grotendeels onderbroken. Alleen via de sluizen kan er sediment in of uit. Wat overblijft is de impact van de golven, de stromingen als gevolg van de wind en de invloed van de sluizen in de Brouwersdam. Door de opwoeling van het sediment door de golven zal de top laag van de bodem van de geulen, waar het sedimenteerd, steeds 'slibbiger' worden. Slib heeft immers een lagere valsnelheid dan zand.

4.2 Scenario's

In Hoofdstuk 2 zijn twee plannen besproken die zijn ontwikkeld in het kader van de integrale visie deltawateren 'Delta InZicht': Delta-synergie, waarbij de verbinding met de Noordzee een opening in de Brouwersdam is, en Scharreze, waar een kanaal naar de Haringvlietmonding is gepland, het Halskanaal. Voor dit project worden drie scenario's beschouwd die gebaseerd zijn op deze plannen, maar die niet precies met de twee plannen corresponderen. De berekeningen gemaakt in het kader van de integrale visie deltawateren 'Delta InZicht' geven een indicatief beeld van de situatie in de drie scenario's, zonder exact te zijn. Deze indicaties over waterstanden en snelheden worden alleen gebruikt om het functioneren van het systeem, en van de vooroeverdammen in het bijzonder, grof te kunnen analyseren met als doel de definitie van de kennisleemten. De drie scenario's zijn:

1. **Herstel zeearm, korte variant:** Er is een verbinding met de Noordzee hetzij via een opening in de Brouwersdam hetzij door een kanaal naar de Haringvlietmonding (het Halskanaal). De getijslag varieert tussen de 1,3 en 0,6 m, respectievelijk, afhankelijk van de verbinding met de Noordzee. De gemiddelde waterstanden onder normale condities zijn ongeveer gelijk aan respectievelijk NAP -0,1 m en NAP 0,2 m. Modelberekeningen van Haskoning geven aan dat de snelheden door de opening in de Brouwersdam op kunnen lopen tot ca. 8 m/s (RIKZ, 2002). In het kanaal liggen de snelheden rond de 1-1,5 m/s tot maximaal 1,8 m/s.
2. **Herstel zeearm, lange variant:** Hetzelfde als de eerste variant maar dan met een verbinding naar het Volkerak. De getijslag varieert nu tussen 0,4 m bij een verbinding via het Halskanaal en 1,2 m voor een opening in de Brouwersdam. De gemiddelde waterstand is ongeveer gelijk aan die bij de korte zeearm. De getijslag in het Volkerak is ongeveer gelijk aan die in het Grevelingenmeer bij de Scharreze-variant en ongeveer 75% van die in het Grevelingenmeer bij de Deltasynergie-optie. Door de grote opening

worden de snelheden door de Grevelingendam in het algemeen niet groter dan 0,2-0,3 m/s. Alleen onder stormcondities en extreme afvoer komen hogere snelheden voor.

3. **Herstel estuarium:** Naast een verbinding met de Noordzee en de Volkerak is er een zoetwaterinlaat via de Volkeraksluizen vanuit het Hollandsch Diep. Bij de Volkerakspuisluizen liggen de maximum snelheden rond de 2,5 m/s, bij storm kan dit oplopen tot meer dan 4 m/s. Bij de opening in de Brouwersdam de getijslag wordt ongeveer 0,9 m. Bij een verbinding naar de Haringvlietmond blijft de gemiddelde waterstand en de getijslag ongeveer gelijk. Bij een extreme afvoer stijgt de waterstand tot ca NAP +1,2 m. In combinatie met een storm kan dit oplopen tot NAP +1,9 m, terwijl de getijslag blijft ongeveer 0,4 m.

4.3 Verwachtingen per variant

4.3.1 Herstel korte zeearm

Op het moment van de afsluiting van de Grevelingen en de vorming van het Grevelingenmeer bestond er geen evenwichtssituatie. De tijd tussen de plaatsing van de Grevelingendam (1964) en de Brouwersdam (1971) was daar te kort voor. Sinds de afsluiting van de Grevelingen is er alleen sediment uitwisseling mogelijk via de sluizen in de Brouwersdam. Bij het (her)introduceren van een (gedempt) getij zal het doorstroomoppervlak van de geulen de grootte moeten krijgen die in evenwicht is met het nieuwe getij. Voor afsluiting bestond er in de Grevelingen een getijslag van zo'n 2 meter. Bij het invoeren van een getij met een amplitude van ongeveer 1 m is het daarom waarschijnlijk dat er sedimentatie in de geulen zal plaatsvinden. Dit proces is ook nu al aan de gang, zij het op beperkte schaal.

De snelheden in de opening in de Brouwersdam zijn groot genoeg om al het sediment in beweging te brengen. De berekende snelheden in het aan te leggen kanaal naar de Haringvlietmonding zijn weliswaar lager maar ook meer dan groot genoeg voor het in beweging brengen van het sediment. Een uitwisseling van sediment is dus in principe mogelijk maar hangt uiteindelijk af van de uitvoering van de geplande stormvloedkering en andere bouwwerken zoals de getijcentrale.

Bij onvoldoende zand aanvoer vanuit de Noordzee dreigt er een afname van het intergetijde gebied. Dit kan gedeeltelijk door de bestaande oeververdedigingen worden opgevangen doordat het transport van zand naar de geulen toe wordt belemmerd. Verder zullen zij de golfenergie verminderen waardoor de opwerveling van sediment wordt tegen gehouden. Het betekent wel dat de bodem van de geulen steeds slibrijker zal worden. Het zal tientallen jaren duren voordat er weer een nieuw evenwicht is bereikt.

Deze variant resulteert in het grootste intergetijdegebied van de drie beschouwde opties, omdat de getijslag er de grootste is.

4.3.2 Herstel lange zeearm

Deze variant is grotendeels gelijk aan de eerste maar er is nu ook een verbinding met het Volkerak door een opening van 1000 m in de Grevelingendam. De berekende snelheden in de opening zijn 0,2-0,3 m/s. Dit ligt dicht bij de kritische snelheid voor sedimentatie van slib. Zand zal niet of nauwelijks bewegen. Dit betekent dat de sedimentuitwisseling tussen het Grevelingenmeer en de Volkerak gering zal zijn.

Door de verbinding met het Volkerak is de getijslag kleiner wat ook een kleiner intergetijde gebied in het (voormalig) Grevelingenmeer betekent.

4.3.3 Herstel van het estuarium

De snelheden door de Volkerakspuisluizen die de verbinding vormen met het Hollandsch Diep zijn groot genoeg om zowel zand als slib het Volkerak in te brengen vanuit het Hollandsch Diep. Omdat alleen sprake is van een zoetwater-inlaat zal er geen sediment vanuit het estuarium de rivier op gaan. Zoals boven gezegd zal de sedimentuitwisseling tussen het Volkerakmeer en het Grevelingenmeer klein zijn.

Uit metingen blijkt dat het Hollandsch Diep vanuit het oosten steeds 'slibbiger' wordt (RIZA, 2000). Bij opening van de Haringvliet kan deze situatie veranderen omdat de hydrodynamica van het hele gebied anders wordt. In de huidige situatie zal bij het inlaten van zoet water in het Volkerakmeer voornamelijk slib binnen komen. Dit wordt ook ondersteund door de waarneming na de afsluiting van het Grevelingenmeer dat het sediment in het Grevelingenmeer in het oosten van het gebied fijner is dan aan de westkant (Leeuwestein & Schoot, 1988).

Bij de optie Deltasynergie zal er een zout-zoet gradiënt ontstaan die zorgt voor een dichtheidstroming in het estuarium. Deze stroomt bij de bodem landinwaarts. Door de lage snelheden die onvoldoende zijn om het zand te transporteren zal aan de oostzijde van het Grevelingenmeer relatief meer slib komen. Het is mogelijk dat de dichtheidstroming tot de Volkerakspuisluizen reikt. In dat geval is er ook een slibtransport bij de bodem vanuit het Volkerak het Hollandsch Diep in. Naar verwachting zal dit geen significante bijdrage geven voor het netto transport daar.

In deze variant is het intergetijde gebied het kleinst in vergelijking met de andere twee varianten omdat de getijslag kleiner is. Wel is de waterstand hoger waardoor het intergetijdegebied hoger zal komen liggen dan bij een lange of korte zeearm. Door de hogere waterstand kunnen er ook hogere golven ontstaan en zal de brekende effect van de oeververdedigingen op de golven minder zijn. Ook nu geldt weer dat het moeilijk is in te schatten of het netto resultaat van de golfimpact positief of negatief is in termen van sedimentatie en erosie voor het gebied achter de verdediging.

Een extreme rivierafvoer doet volgens de berekeningen de waterstand aanzienlijk stijgen. In combinatie met een storm op de Noordzee kan de gemiddelde waterstand oplopen tot meer dan 2 m. De getijslag neemt af tot 30 à 40 cm (RIKZ, 2002, Tabel 1.). Dit betekent een aanzienlijke golfaanval op slechts een smalle zone van de oevers. Zand en slib van de platen en schorren wordt geresuspendeerd. Bij een hoge waterstand in combinatie met hoge golven

kan dit materiaal ook voorbij de vooroeverdammen komen. Dit zou kunnen betekenen dat de afbraak van de platen die in de natte strook liggen bij stormen door kan gaan ondanks de vooroeverdammen.

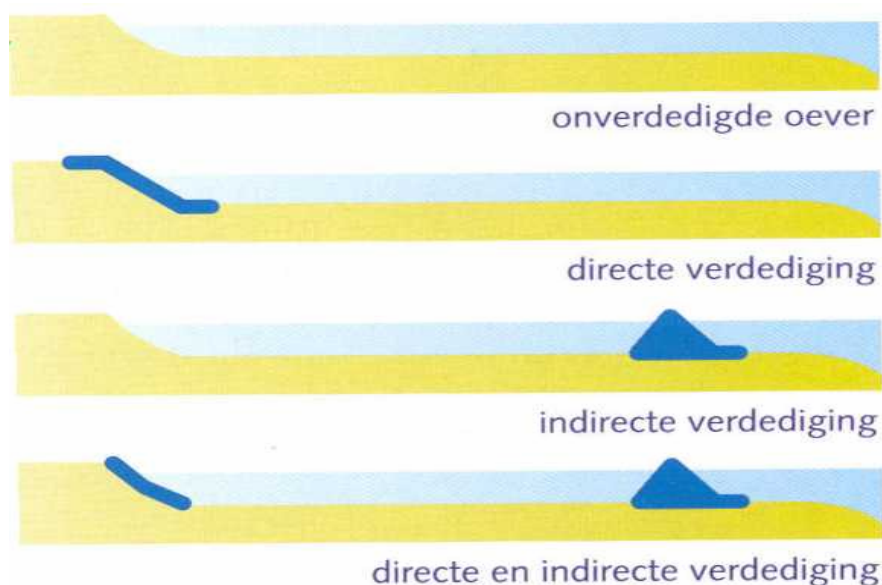
Onder extreme omstandigheden zoals deze moet er rekening mee worden gehouden dat het water tegen de dijk zal aanslaan. Echter, omdat de dijken gebouwd zijn in de periode voor de sluiting van de Grevelingen, zouden zij voldoende sterk moeten zijn om de gevolgen van een getijslag van 1 m op te kunnen vangen.

5 Oevers

5.1 Inleiding

De buitendijkse gebieden van het Grevelingenmeer zijn belangrijk voor de recreatie- en natuurwaarde van het gebied. De slikken van Flakkee aan de noordzijde van het meer bijvoorbeeld, vormen een uniek natuurgebied in Nederland. Sinds de sluiting van de Grevelingen zijn de oevers gaan afkalven doordat de golfaanval zich richtte op slechts een smalle strook van de oevers. Vanaf 1973 worden de oevers in het Grevelingenmeer daarom beschermd.

Er kunnen twee hoofdtypen van oeververdedigingsvormen worden onderscheiden: een directe oeververdediging en een indirecte vooroeververdediging. Een combinatie van de twee is ook mogelijk (zie Figuur 5.1). De vraag is wat de rol van deze beschermingsmaatregelen zijn bij het invoeren van een getij.

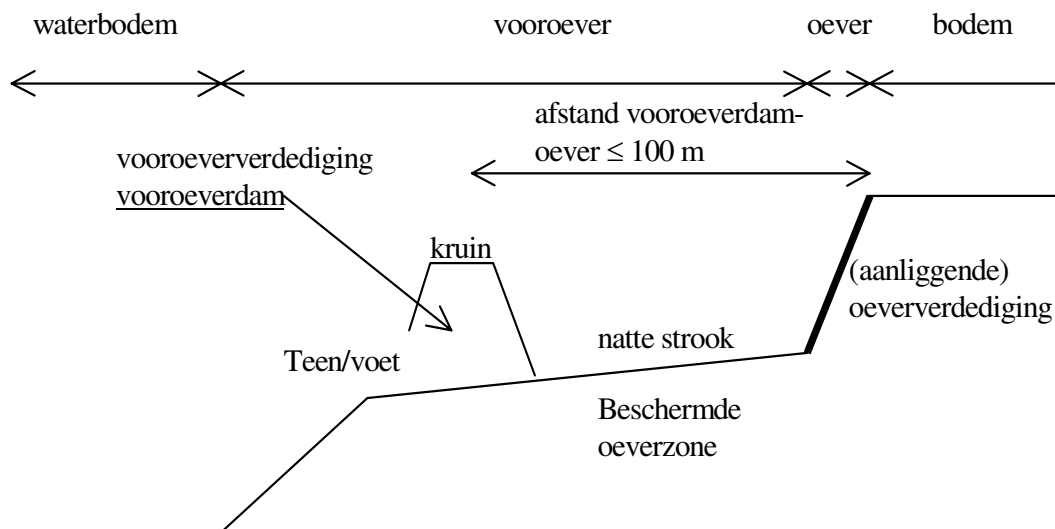


Figuur 5.1 Oeververdedigingen in het Grevelingenmeer (uit Hoeksema, 2002)

In het Grevelingenmeer vindt men directe en indirecte oeververdedigingen. De terminologie die hier gebruikt wordt om de oeverzone te beschrijven is gegeven in Figuur 5.2. In het Grevelingenmeer verschillen de geometrisch karakteristieken per locatie. In het algemeen heeft de afstand tussen de vooroeverdam en de vaste oever een orde-grootte van tientallen meters met een maximum van ca. 100 m terwijl de hoogte van de vooroeverdam (teen-kruin) een orde-grootte heeft van een meter.

De oeververdediging in het Grevelingenmeer lijkt succesvol. De achteruitgang van de oeverlijn is veel kleiner dan die van onverdedigde oevers en neemt bovendien af in de tijd.

Er is een duidelijke toename van het ondiep-watergebied ten koste van het droge gebied. Dit gaat wel gepaard met een verdieping van de buiten vooroever (Hoeksema, 2002).



Figuur 5.2 Terminologie oeververdedigingen (uit de Gelder & de la Haye 2002).

Bij het invoeren van het getij zullen de nu droge platen en slikken weer tweemaal per dag onder zout water komen te staan. Dit heeft een effect op de bestaande vegetatie, met name die buiten de zoutindringingszone. Het betekent ook dat er weer sediment wordt afgezet op hogere stukken van de oever waar het water nu geen invloed heeft. Dit zal leiden tot de vorming van schorren langs de randen van het meer.

In dit hoofdstuk wordt het functioneren van de bestaande vooroeververdedigingen besproken bij invoer van een getijslag. Ook het ontstaan van schorren en hun eventuele betekenis voor de oever worden verder beschouwd.

5.2 Effectiviteit bestaande oeververdedigingen bij invoeren getij

5.2.1 Oevererosie

In hoeverre de technische uitvoering van de oeververdedigingen zal moeten worden aangepast aan de nieuwe situatie is onderzocht door Witteveen en Bos (W & B, 2000). Er zal hier vooral worden gekeken naar de impact voor de morfologie.

Het waterpeil in het Grevelingenmeer wordt op dit moment gehouden op NAP -0,20 m. De kruinhoogten van de vooroeverdammen liggen op ongeveer NAP, hetgeen betekent dat de kruinen van de vooroeverdammen 20 cm boven het water liggen. Zoals in Hoofdstuk 2 is vermeld zal bij het instellen van een gedempt getij het waterpeil fluctueren tussen NAP -0,60 m en NAP +0,56 m. Bij stormcondities in combinatie met een extreme rivierafvoer kan de waterstand oplopen tot NAP +1,4 m.

Dit betekent dat, onder normale omstandigheden, het waterpeil ongeveer de helft van de tijd lager is dan de kruin waardoor de verdediging nog werkzaam is. Bij hogere waterstanden zal de verdediging toch nog effectief zijn doordat het golfbreking induceert. Als de afstand tussen de kruin van de vooroeverdam en het wateroppervlak meer dan de golfhoogte bedraagt, is de golfbreking verwaarloosbaar.

Op basis van windgegevens, dieptes en strijklengtes zijn de golfhoogtes op verschillende locaties geschat (W & B, 2000). De maatgevende golfhoogte ligt rond de 0,70 m met een periode van 2,5 à 3 seconden. Afhankelijk van de diepte en de wind varieert deze tussen 0,5 en 1,2 m. Deze waarden geven aan dat in veel gevallen de indirecte vooroeververdedigingen ook bij hoogwater nog breking zullen induceren.

Als de golf ongehinderd over de verdediging 'heenloopt' kan de breking plaatsvinden net aan de klifrand wat erosie zal veroorzaken. Als de schorrand zich rond het niveau van de hoogwaterlijn bevindt zal daar schade worden aangericht. Bij verder stijgen van het waterpeil zullen de golven steeds verder doordringen om uiteindelijk tegen de dijk aan te slaan. Leeuwestein & Schoot (1988) vonden een verband tussen de oeverafslag en de afstand van de verdediging tot de oever zelf; hoe groter de afstand hoe groter de erosie. Een grotere afstand geeft de golfhoogte weer de kans op te bouwen.

Bij een extreme rivierafvoer in combinatie met een storm op zee kunnen de hoogste golven samen met de hoogste waterstanden ontstaan. Door de hoge waterstanden onder die omstandigheden zal de golfbreking minder zijn. Dit zal met name een probleem zijn voor onbegroeide stukken op bijvoorbeeld de platen waar sediment kan worden geresuspendeerd. Op begroeide stukken zal bij voldoende dichtheid de vegetatie de bodem beschermen. Dit is bijvoorbeeld het geval op een volledig ontwikkeld schor. Voor vegetatie die zich nog in het pionierstadium bevindt kunnen dergelijke extreme omstandigheden juist funest zijn. Maar zelfs bij voldoende dichtheid is er het risico van kliferosie door ondermijning van de oever als gevolg van een golfaanval. Hoge waterstanden in combinatie met hoge golven kunnen er ook voor zorgen dat opgewoeld slib en zand van de platen voorbij de vooroeververdedigingen getransporteerd kunnen worden.

5.2.2 Ontwikkeling van platen en schorren in de beschermde oeverzone

De golven zorgen voor een herverdeling van het zand op de platen en de voorliggende lager gelegen delen van de beschermde oeverzone tussen vooroeverdam en oever (zie Figuur 5.2). Afhankelijk van het sediment zal dit wel of niet voorbij de vooroeverdam komen. Zand wordt vaak getransporteerd als bodemtransport en de vooroeververdediging zal daarvoor een soort drempel vormen. Zand dat zich achter de constructies bevindt zal daardoor de vooroeverdam moeilijker vandaan komen en vice versa. In de huidige situatie zal er ook slechts weinig zanduitwisseling plaatsvinden door de openingen in de vooroeverdammen vanwege de lage snelheden. In het positieve geval kan er door de aanwezigheid van een vooroeverdam een soort 'hangend strand' constructie ontstaan die voorkomt dat het zand in de geul verdwijnt. Omgekeerd geldt echter ook dat zand moeilijker vanuit de geul op de hogere delen van de platen en schorren terecht kan komen waardoor de opbouwende krachten van het getij worden verminderd.

Als de getijslag toeneemt, neemt de hydrodynamica en misschien ook het zandtransport (met snelheden hoger dan de kritiek waarde voor zandtransport) in de beschermde oeverzone toe. Met het instellen van een meer dynamisch regime kunnen de openingen in de vooroeverdam als 'zand route' fungeren wat de sediment (zand en slib) uitwisseling zal bevorderen.

De uitwisseling tussen de platen en de vooroever wordt ook bemoeilijkt door de golfbreking aan met name de vooroeverdam. Er is hierdoor minder energie om het sediment te resuspenderen en te transporteren. Het breken van de golven aan de vooroeverdam heeft hierdoor een positief en een negatief effect: er is minder erosie van de oever maar de opbouw van de platen in de beschermde oeverzone wordt mogelijk ook minder. Omdat slib in suspensie wordt vervoerd zal dit veel minder hinder ondervinden van de aanwezigheid van de vooroeverdam dan het zand.

Concluderend kan worden gesteld dat de vooroeverdammen bij het invoeren van dynamisch peilbeheer zowel een positief als negatief effect kunnen hebben. Aan de ene kant zullen zij tijdens (een gedeelte van) de hoogwaterperiode als golfbreker fungeren en een 'drempel' vormen voor met name zand dat daardoor niet in de geulen terecht kan komen. Aan de andere kant vormen zij een belemmering voor de herverdeling van zand waardoor ook de opbouw van schorren en platen in de natte strook wordt gehinderd.

5.2.3 Gevolgen voor de vooroeverdammen

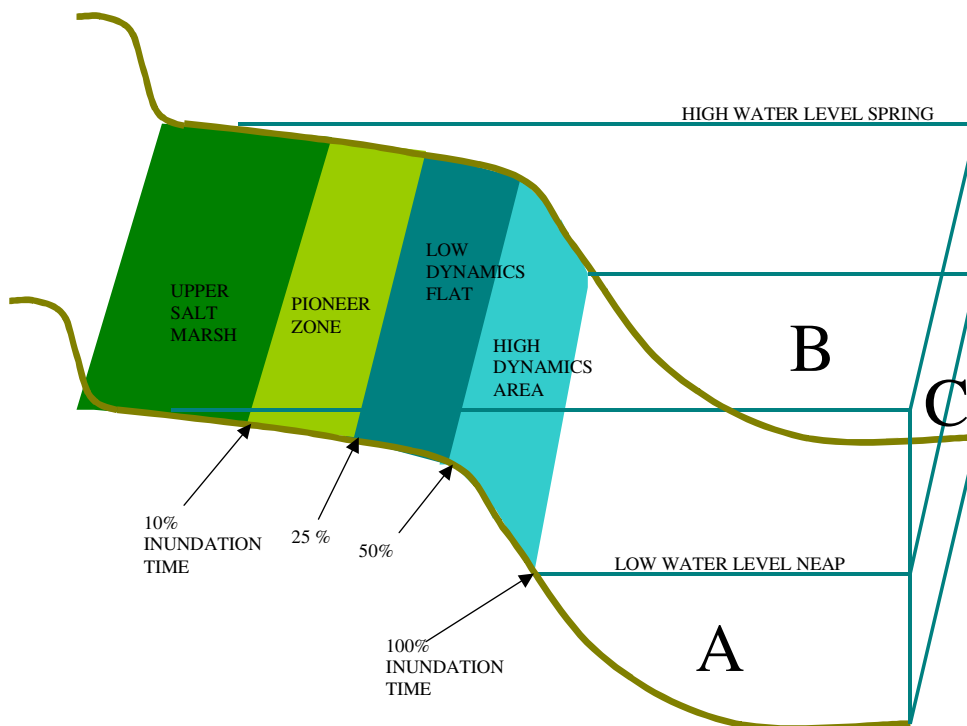
Een vloedstroom over de vooroeverdam bij een getijslag van een meter zal een snelheid in de orde van centimeters per seconde hebben en daarom geen problemen voor de kruin opleveren. De orde-grootte van de snelheid is geschat voor een afstand vooroeverdam-vaste oever van 100 m, met een getijslag van 1 m en hoogwaterpeil 50 cm boven de kruin van de vooroeverdam. In de toekomstige situatie zullen de golven bij hoog water over de kruin breken. Gecontroleerd moet worden of de huidige kruinconstructie de golfaanval kan weerstaan.

Door het introduceren van een getij zullen de golven de teen van de vooroeverdam vaarschijnlijk minder eroderen dan nu. Bij hoog water zal de huidige retourstroming bij de teen ten gevolge van golfmassatransport verdwijnen en dat kan in feite een neiging tot verminderde erosie aan de teen betekenen. Tijdens laagwater is de toekomstige situatie vergelijkbaar met de huidige situatie, maar, door de beschervan de droog-gevallen platen, met kleinere golven. Het netto resultaat moet per locatie onderzocht worden.

Door vloed- en ebstromingen, soms in combinatie met een retourstroming die door golven gegenereerd kan worden, kunnen de openingen in de vooroeverdam eroderen. De stroomsnelheden zijn er immers hoog als het water door een kleine opening moet. Met een meter getijslag zullen de stroomsnelheden door de openingen een orde-grootte hebben van decimeters per seconde, wanneer men ervan uitgaat dat de openingen een meter breed zijn met onderlinge tussenafstanden van 10 meter. Bedragen de tussenafstanden 100 meter, dan bereiken de stroomsnelheden waarden in de orde van meters per seconde. Erosie in de openingen kan tot instabiliteit van de vooroeverdammen leiden.

5.3 Schorontwikkeling

Bij het instellen van een dynamisch peilbeheer kunnen er aan de oevers van het meer weer schorren met bijbehorende slikken ontstaan. Deze ‘zoutwater-moerassen’ zijn waardevolle gebieden voor flora en fauna. Op een schor zijn verschillende zones te onderscheiden zoals aangegeven in Figuur 5.3. Rond het niveau van de gemiddelde waterstand begint het laag dynamische plaat (zie Figuur 5.3), rijk aan slib, hogerop gevolgd door de zogenaamde pionierzone en uiteindelijk het hoge begroeide gedeelte van de schor.



Figuur 5.3 Overzicht van de verschillende vegetatiezones met bijbehorende inundatietijden van een schor (Crosato et al. 2002).

Vegetatie heeft invloed op de morfologie. Het houdt het sediment vast, enerzijds door de dempende werking op de golven en stroming en anderzijds door het vasthouden van sediment met hun wortels. Erosie en achteruitgang van de schorren gebeurt daardoor voornamelijk door ondermijning van de oevers waardoor er stukken oever afslaan. Deze zogenaamde *kliferosie* is onderdeel van de natuurlijke dynamiek van de schor. Het kan uiteindelijk leiden tot het verdwijnen van een schor. Afhankelijk van de mate van energie-dissipatie en inundatietijd in het gebied voor de klif, kan pioniervegetatie zich al dan niet verder ontwikkelen waardoor de schor zich eventueel kan herstellen (Crosato et al. 1999).

De ontwikkeling van een schor begint met het ontstaan van pioniervegetatie. In de jaren 20 en 30 werd dit gestimuleerd door de aanplant van Engels Slijkgras. In noord Groningen en Friesland werd ook land gewonnen door de kwelderontwikkeling te stimuleren door het aanleggen van kleine dammetjes. Ook het op de juiste plaats aanbrengen van geulen kan helpen de ontwikkeling te versnellen. Bij de kwelderwerken in Groningen en Friesland lijkt een verband te bestaan tussen het areaal met pioniersvegetatie en de hoogte van de hoogwaters. Wellicht betreft het oorzakelijke verband niet zozeer de hoogte van de

hoogwaters maar de gevoeligheid voor perioden met ruw weer waardoor zaden en kiemplanten uitspoelen (Dijkema et al., 2000).

Vegetatie beschermt de bodem tegen de eroderende krachten en dempt de waterbeweging waardoor sedimentatie toeneemt (Houwing et al., 2000). De beschermende werking van begroeiing is wel afhankelijk van de planteigenschappen zoals lengte en stijfheid. Uit een studie naar de dempende werking op de golven van riet bijvoorbeeld, blijkt dat bij golfhoogtes boven de 0.25 m het riet het begeeft (Verheij et al., 1994). Een ander aspect is het ontstaan van ontgrondingskuilen waardoor ook grotere vegetatie zoals een boom om kan vallen. Actief biologisch beheer is mogelijk een alternatief voor of aanvulling op de huidige oeververdedigingen maar moet zorgvuldig gebeuren.

6 Conclusies en kennisleemtes

6.1 Conclusies

Het terugbrengen van een gedempt getij in het Grevelingenmeer zal sedimentatie in de geulen met zich meebrengen totdat er een evenwichtssituatie is ontstaan. De overgangperiode tot de nieuwe evenwichtssituatie kan tientallen jaren duren. In geringe mate is dit proces ook nu al aan de gang.

De aan- en afvoer van sediment is een sturende factor voor de morfologie van het systeem. De nieuwe evenwicht situatie kan een vermindering van het oppervlak aan intergetijdgebieden, vooral platen, betekenen als de aanvoer van sediment van buiten onvoldoende is. Of dit zo is hangt mede af van de technische uitvoering van de geplande bouwwerken in de verbinding met de Noordzee. In de Oosterschelde bijvoorbeeld, is door de Stormvloedkering (gebouwd in 1986) de uitwisseling van zand niet meer mogelijk.

De uitwisseling van sediment voor de geplande openingen naar de Noordzee en het Hollandsch Diep is in principe mogelijk. Hoe de bodemsamenstelling in het Grevelingenmeer zal zijn hangt er vanaf of er uitwisseling van zand mogelijk is. Er zal niet of nauwelijks uitwisseling zijn tussen het Grevelingenmeer en het Volkerakmeer. Dit betekent dat er in het Volkerak relatief veel slib zal komen.

De uitwisseling van vooral zand tussen hoger en lager gelegen delen van de platen en schorren wordt bemoeilijkt door de aanwezigheid van de vooroeverdammen. Of dit netto een positief (opbouw) of negatief (afbraak) effect op de intergetijdgebieden zal hebben is moeilijk in te schatten en zal per locatie verschillen. Het uiteindelijke oordeel hierover is mede afhankelijk van wat men wil in dit gebied. Voor een effectief beheer in deze zal moeten worden onderzocht wat de lokale gevolgen precies zijn. Daarnaast zal vanuit het beleid moeten worden aangegeven wat het streefbeeld is voor het gebied zodat kan worden bepaald of, en waar maatregelen nodig zijn.

Het instellen van een getij kan de ontwikkeling van schorren mogelijk maken. Het van nature dynamisch gedrag van schorren is alleen mogelijk als er de ruimte voor geboden wordt. Deze ruimte wordt beperkt door de aanwezigheid van de vooroeverdam. De vooroeverdammen zijn echter nu en tijdens de overgangperiode wel noodzakelijk om erosie in de oeverzone te voorkomen. Bij een eventuele stabilisatie met een nieuw evenwicht zullen de vooroeverdammen misschien niet meer noodzakelijk zijn, maar dit moet verder onderzocht worden.

In hoeverre de ontwikkeling van schorren haalbaar zal zijn, gegeven het streefbeeld en de randvoorwaarden voor het gebied, moet worden onderzocht. Het areaal intergetijdgebied dat ontstaat bij het instellen van een getij is mede afhankelijk van de sediment balans. Hoe deze eruit zal gaan zien moet ook worden onderzocht. Daarnaast zal voor specifieke locaties bekeken moeten worden wat de 'natuurlijke morfologische toestand' is.

Door het introduceren van een getij zullen de golven de teen van de vooroeverdam waarschijnlijk minder eroderen dan nu. Bij hoog water zal de huidige retourstroming bij de teen ten gevolge van golfmassatransport verdwijnen en dat kan in feite een neiging tot verminderde erosie aan de teen betekenen. Tijdens laagwater is de toekomstige situatie vergelijkbaar met de huidige situatie, maar met kleinere golven (bescherming van de drooggevallen platen). Door vloed- en ebstromingen, soms in combinatie met een retourstroming die door golven gegenereerd kan worden (afhankelijk van de waterstand en de golfhoogte), kunnen de openingen in de vooroeverdam eroderen. Gecontroleerd moet worden of de huidige kruinconstructie deze golfaanvallen kan weerstaan.

6.2 Kennisleemtes

6.2.1 Inventarisatie

Uit de voorgaande hoofdstukken komt een aantal kennisvragen naar voren.

Vragen over de hydrodynamische effecten van het introduceren van een gedempt getij:

Hoe ziet de getijasymmetrie eruit, direct na het instellen van een getij, dus zonder morfologische ontwikkelingen, en hoe ziet dit er op langere termijn eruit? Hoe verschilt dit per variant (zeearm of estuarium)?

Hoe ver landinwaarts is het effect van de dichtheidsstroming?

Vragen over de morfologische effecten op macro-schaal:

Hoe zal het nieuwe evenwicht eruitzien? Hoe verschilt het per variant (zeearm of estuarium)?

Hoe lang zal de overgangperiode tot het nieuwe evenwicht duren?

Is de sedimentaanvoer voldoende voor de ontwikkeling (opbouw) van intergetijdegebieden?

Vragen over de morfologische effecten op micro en meso-schaal:

Hoe ziet de sedimentuitwisseling tussen platen en geulen eruit na invoering van een getij?

Wat is de invloed van de bestaande vooroeverdammen hierop?

Hoe belangrijk zijn extreme omstandigheden (stormen) voor de morfologische ontwikkeling van de intergetijdegebieden?

Zullen de bestaande vooroeverdammen na invoering van een getij nog voldoende bescherming tegen oevererosie bieden? Zullen de vooroeverdammen nog noodzakelijk zijn?

Vragen over kunstwerken:

Hoe is de sedimentuitwisseling met de Noordzee na het bouwen van de geplande kunstwerken (stormvloedkering, getijdecentrale)?

Zullen de openingen in de vooroeverdammen eroderen?

Kunnen de huidige kruinconstructies de golfaanvallen weerstaan?

Of de effecten van het introduceren van een gedempt getij gunstig of ongunstig zijn, is afhankelijk van het streefbeeld voor het gebied.

De belangrijkste vraag is echter: wat zijn de streefbeelden voor het gebied en hoe verhouden die zich met het toekomstige morfologische eenwicht?

6.2.2 Plan van aanpak

Plan van aanpak voor de beantwoording van de vragen over hydrodynamische effecten

Hoe de getijassymetrie eruit ziet, dus of het systeem netto sediment in- of exporteert kan worden bepaald op basis van een hydrodynamische berekening met Delft3D-FLOW. Hiervoor zijn gegevens nodig over de bathymetrie van het gebied, waarbij met name de ondiepe gedeeltes belangrijk zijn. In het algemeen zijn er in Nederland voldoende gegevens beschikbaar om de benodigde randvoorwaarden voor een dergelijke berekening in te vullen. Deze berekening geeft ook aan hoe ver de zouttong zich uit zal strekken bij de estuarium-variant.

Plan van aanpak voor de beantwoording van de vragen over de morfologische effecten op macro-schaal

Om een beeld te krijgen van het gedrag op macro-schaal is het gebruik van het semi-empirische model ESTMORF een mogelijkheid (Wang et al. 1998, 2001). Met dit model kan een beeld worden verkregen van hoe de evenwichtssituatie van het systeem eruitziet en op welke termijn deze wordt bereikt. Het geeft grof aan waar erosie en sedimentatie zullen optreden en hoe de sediment balans van het systeem eruit ziet.

Voor ESTMORF-modellering zijn gegevens nodig van een periode waarin er evenwicht bestond, dus voor de afsluiting van de Grevelingen. Als deze ontbreken kan er op basis van vergelijkbare systemen zoals bijvoorbeeld de Westerschelde een inschatting worden gemaakt van benodigde parameters. Hierbij moet wel worden vastgesteld of de sedimentsamenstelling in de Westerschelde niet te veel afwijkt van die in het Grevelingmeer. Als dit wel het geval is dan kan er met behulp van een beperkte inzet van procesmodellen een afschatting van de noodzakelijke parameters worden gegeven. Het is belangrijk als voorbereiding van een dergelijke modelstudie om een goede lange termijn sediment balans te maken van het gebied.

Plan van aanpak voor de beantwoording van de vragen over de morfologische effecten op meso- en micro-schaal

Voor een precies antwoord op bovengenoemde vragen, met name wat betreft het effect van de vooroeverdammen, is experimenteel onderzoek nodig omdat de beschikbare modellen hiervoor ontoereikend zijn. Dit lijkt, gegeven de aard van de plannen op dit moment, waarschijnlijk niet haalbaar. Het is wel mogelijk om met numerieke modellen een aantal indicatieve berekeningen uit te voeren om een idee te krijgen van de werking van het systeem.

Voor een 'quick-scan' van het netto effect van de (voor)oeverdammen op de sedimentbeweging kan een model zoals UNIBEST worden ingezet. Hiermee kan de ontwikkeling van een profiel onder invloed van hydraulische krachten worden bepaald. Een andere optie hiervoor is het 'WL-oeverafslagmodel' (Stolker en Verheij, 2001). Hiermee wordt specifiek de oeverafslag onder invloed van golven berekend.

Om ook de processen op micro-schaal nader te bestuderen is Delft3D een geschikte optie. Door de 3D-aanpak kan bijvoorbeeld het effect van de openingen in de vooroeverdammen worden berekend. Dit model biedt bovendien de mogelijkheid om een gehele plaat inclusief vegetatie te modelleren.

De golfmodule van Delft3D kan ook inzicht geven in het effect van de vooroeverdammen op de golven en of de golfenergie voldoende is om het materiaal te resuspenderen.

Tot slot: bij de interpretatie van de resultaten van de modellen speelt deskundigenoordeel een belangrijke rol. De modelberekeningen moeten vooral worden gezien als hulpmiddel. Om een zo volledig mogelijk beeld te krijgen zullen de resultaten van de verschillende modellen moeten worden geïntegreerd.

Plan van aanpak voor de beantwoording van de vragen over kunstwerken

Om de vragen over de kunstwerken te kunnen beantwoorden is een bureaustudie voldoende.

7 Referenties

- Brouwer, de J, A. Crosato, N. Dankers, W. van Duin, P.M.J. Herman, W. van Raaphorst, M.J.F. Stive, A.M. Talmon, H. Verbeek, M.B. de Vries, M. van der Wegen, J.C. Winterwerp (2001) 'Ecomorphodynamic processes in the Rhine-Meuse-Scheldt delta and in the Dutch Wadden Sea', Delft Cluster, WL | Delft Hydraulics rapport nr Z2827.
- Crosato, A., de Vries, M. en Kuyper, K. (1999), 'A tool intertidal flat classificatie', WL | Delft Hydraulics, Rapport nr. Z2037.50.
- Crosato, A., Tánzos, I., de Vries, M. en Wang, Z.B., (2002), 'Quantification of Biogeomorphological Variables for Dutch Tidal Systems', WL | Delft Hydraulics, Rapport nr.Z2837/Z2827.
- De Vriend, H.J. en Bakker, W.T., 1993 'Sedimentary processes and morphological behaviour models for mixed-energy tidal inlets', WL | Delft Hydraulics, Rapport nr. H1887.
- DGW, (1987), 'De Oosterschelde naar een nieuw onderwaterlandschap', Eindrapport project Geomor, Nota DGW.AO 87.029s
- Dijkema, K.S. et al. (2000), Beheer Kwelderwerken, verslag monitoring kwelderweken waddenkust Friesland en Groningen nov. 1999- nov. 2000, Directoraat Generaal Rijkswaterstaat, Directie Noord-Nederland.
- EOS, (1991), 'Veilig Getij. De effecten van de waterbouwkundige werken op het getijdemilieu van de Oosterschelde' RWS, DGW en Directie Zeeland, GWWS 91.088/AX91.091.
- Friedrichs, C.T. and D.G. Aubrey (1988), Non-linear tidal distortion in shallow well-mixed estuaries: a synthesis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 27, 521-545.
- Gelder, de, A. & de la Haye, M. (2002), 'Verkennde studie vooroevers Rijn-Maas-monding. Het functioneren van vooroeververdediging bij een ander beheer van de Haringvlietsluizen', DWW, december 2002.
- Hoeksema, H.J., (2002), 'Grevelingenmeer, van kwetsbaar naar weerbaar', Rapport RIKZ/2002.033, inclusief CD-rom, Rijksinstituut voor Kust en Zee.
- Houwing, E.J., Tánzos I.C., A. Kroon, A. and de Vries M.B., (2000), 'Interaction of submerged vegetation, hydrodynamics and turbidity; analysis of field and laboratory studies.' Proceedings IntercoH 2000,
- Kohsiek, L.H.M., Buist, H.J., Bloks, P., Misdorp, R., Berg v.d., J.H. en Visser, J., (1987), 'Sedimentary processes on a sandy shoal in a mesotidal estuary (Oosterschelde, The Netherlands)', in: Boer de, P.L., van Gelder and Nio, S.D. (eds), 'Tide-influenced Sedimentary Environment and Facies', Reidel Publ. Comp., Dordrecht, p. 201-214.
- Leeuwestein, W. en Schoot, P., (1988), Evaluatie oevers, eindrapportage van het project Overerosie, Sectie kustwaterbouwkunde, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft.
- LTV, (2000), Lange Termijn Visie Westerschelde Estuarium, WL| Delft Hydraulics, Rapportnr. Z2878.
- RIKZ, (2002), Werkdocument 'IVD vragen Blauwe Delta: Grevelingenstudie', nr: RIKZ/OS/2002.810x, Contactpersoon Herman Haas.
- RIZA, (2000), 'Bodem in beeld', RIZA rapport 2000.005, Dordrecht, ISBN 9036953006
- Stolker., C., en Verheij, H.J. (2001), Calibratie van een overafslagmodel voor de Zandmaas, WL | Delft Hydraulics, Rapportnr. Q3060.
- Van der Wegen, M., (2002), in: ENFRAIM, A thematic study on fresh water/salt water interface, IHE Delft (in prep.).
- Verheij, H.J., Geilen, N. en de Groot, F. (1994), Oevers begroeid met riet en mattenbies', WL | Delft Hydraulics, Rapport nr, Q632
- Wang, Z.B., Karssen, B., Fokkink, R.J. and Langerak, A., 1998. A dynamic/empirical model for long-term morphological development of estuaries. In: J. Dronkers and M. Scheffers (eds.), *Physics of estuaries and coastal seas*, Balkema, Rotterdam, pp. 279-286.
- Wang, Z.B. A. Roelfzema, 2001, Long-term morphological modelling for Humber Estuary with ESTMORF, IAHR Conference in Beijing, China, September 2001.
- Wang, Z.B. en Weck, van der, A., (2002), 'Sea level rise and morphological development in the Wadden Sea', WL | Delft Hydraulics, Conceptrapport nr. Z3441,

W & B, (2000), 'studie: Civieltechnische effecten peildynamiek Grevelingenmeer', Witteveen en Bos,
projectcode: Rw 1048.1



WL | Delft Hydraulics

**Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

**Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

